

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-010412

(43)Date of publication of application : 11.01.2002

(51)Int.Cl.

B60L 13/03
H02P 21/00
H02P 7/00

(21)Application number : 2000-191125

(71)Applicant :

MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 26.06.2000

(72)Inventor :

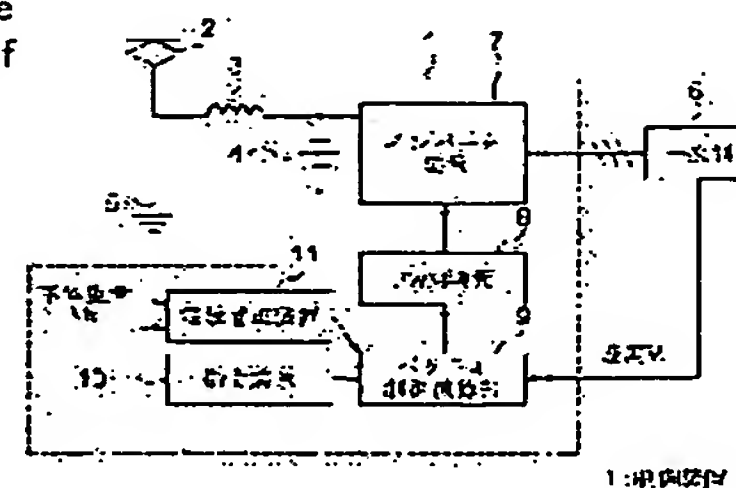
KONO MASAKI

(54) LINEAR INDUCTION MOTOR CONTROLLER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a linear induction motor controller which can make the same control as the vector control calculation for a rotating three-phase induction motor by compensating the change of its constants on the basis of varying of gap.

SOLUTION: This controller has a constant compensator 11, which compensates mutual inductance change caused by the change of the gap between the primary 6 and the secondary 12 by obtaining the relations of the gap and the mutual inductance, which is the equivalent circuit constant of the motor, and a linear induction motor control for controlling the motor on the basis of the output from the above constant compensator 11.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(43)公開日 平成14年1月11日(2002.1.11)

テラコート(参考)

101A 5H113

M 5H540

Z 5H576

審査請求 未請求 請求項の数 3 OL (全 6 頁)

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(22)出願日 平成12年6月26日(2000. 6. 26)

(72) 発明者 河野 雅樹

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱重機株式会社内

(74) 代理人 100057874

井理士 曾我 道照 (外6名)

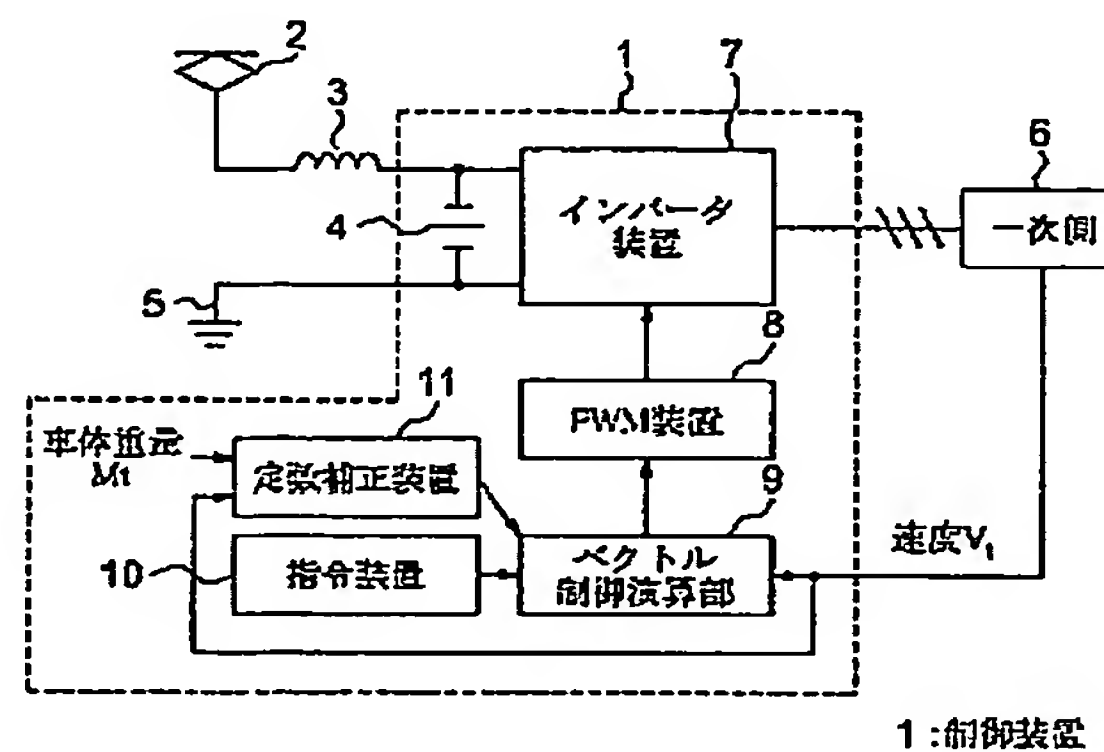
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リニアインダクションモータ制御装置

(57) 【要約】

【課題】 ギャップ変動に基づいてその内部定数値の変化を補正することにより、回転型三相誘導電動機のベクトル制御演算と同様な制御性能が得られるリニアインダクタンスモータ制御装置を得る。

【解決手段】 リニアインダクションモータの１次側６と２次側１２のギャップとこのリニアインダクションモータの等価回路定数である相互インダクタンスの関係を導出し、この導出出力に基づいてリニアインダクタンスモータの１次側６と２次側１２のギャップ変動による相互インダクタンスの変化を補正する定数補正装置１１と、この定数補正装置１１の出力に基づいてリニアインダクションモータを制御する制御手段とを備える。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 リニアインダクションモータの1次側と2次側のギャップと該リニアインダクションモータの等価回路定数である相互インダクタンスの関係を導出し、該導出出力に基づいて上記リニアインダクションモータの1次側と2次側のギャップ変動による相互インダクタンスの変化を補正する補正手段と、
該補正手段の出力に基づいて上記リニアインダクションモータを制御する制御手段と備えたことを特徴とするリニアインダクションモータ制御装置。

【請求項2】 上記補正手段は、上記リニアインダクションモータの速度に対応した外力を出力する外力出力手段と、該外力出力手段の出力と車体重量に基づいて上記リニアインダクションモータの1次側と2次側のギャップ長を演算する第1の演算手段と、該第1の演算手段の出力に基づいて上記リニアインダクションモータの等価回路定数に関連した相互インダクタンスを演算する第2の演算手段とを有することを特徴とする請求項1記載のリニアインダクションモータ制御装置。

【請求項3】 上記外力出力手段は、上記リニアインダクションモータの速度が入力されると予め設定されたテーブルを検索して対応する外力を求めることを特徴とする請求項2記載のリニアインダクションモータ制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、リニアインダクションモータ制御装置に関し、特に、電気車搭載リニアインダクションモータの制御装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 一般に、電気車駆動用リニアインダクションモータの1次側と2次側のギャップ長は、車両の走行中に大幅に変動する。このギャップ長の変動は、電気車に望まれる定トルク特性を損なうため、ギャップ長を検出してリニアインダクションモータのすべり周波数およびモータ電流を修正する方法がある。

【0003】 図5は、例えば特開昭61-199404号公報に示されたこの種従来のリニアインダクションモータ制御装置を示す構成図である。図において、6はリニアインダクションモータの一次側、7はインバータ装置、12はリニアインダクションモータの二次側、40はすべり周波数パターン発生器、41はリニアインダクションモータの電流を検出する電流センサ、42はモータ周波数（車両速度）を検出する速度発電機、43は演算増幅器、44は電圧パターン発生器、45は電気車即ちリニアインダクションモータの1次側6に取り付けられたギャップ検出器、50は電流パターン発生器である。

【0004】 次に、動作について説明する。ギャップ検出器45によりリニアインダクションモータの一次側6

と二次側12間のギャップ長 δ を測定する。トルク指令Tとギャップ長 δ がすべり周波数パターン発生器40に入力され、後述するすべり周波数基準 f_s を発生する。また、トルク指令Tとギャップ長 δ が電流パターン発生器50に導かれ、電流基準 I_P を発生する。

【0005】 ギャップ長 δ が変動すると、これに伴いモータ定数が変動するが、リニアインダクションモータの定トルク特性を維持するためには、2次抵抗 R_2 による発生トルクを一定にすればよいので、 $(I_2) \times R_1 \cdot f_1 / f_s$ が一定になるように各要素を補正すればよい。ここで、 I_2 はモータ2次電流、 R_1 は1次抵抗、 f_1 は1次周波数、 f_s はすべり周波数を表す。リニアインダクションモータの1次誘起電圧 E_1 は、下記の式(1)で表される。

【0006】

【数1】

$$E_1 = R_2 \cdot \frac{f_1}{f_s} \cdot I_2 + j2\pi f_1 \cdot L_2 \cdot I_2 \quad \cdots (1)$$

【0007】 ギャップ長 δ が $\Delta \delta$ だけ変動したことにより、 L_2 （リニアインダクションモータの2次漏れインダクタンス）、 R_2 、 I_2 、 f_s がそれぞれ、 ΔL_2 、 ΔR_2 、 ΔI_2 、 Δf_s だけ変動したとすると、変動後の1次誘起電圧 $E_{1\Delta}$ は、下記の式(2)の如くなる。

【0008】

【数2】

$$E_{1\Delta} = R_2' \cdot \frac{f_1'}{f_s'} \cdot I_2' + j2\pi f_1' \cdot L_2' \cdot I_2' \quad \cdots (2)$$

【0009】 但し、上記式(2)において、 $R_2' = R_2 + \Delta R_2$ 、 $L_2' = L_2 + \Delta L_2$ 、 $I_2' = I_2 + \Delta I_2$ 、 $f_s' = f_s + \Delta f_s$ となる。ここで、 $E_1 = E_{1\Delta}$ となるように、1次電圧Vを制御する場合、変数は f_s 、 I_2 、 $(f_s + \Delta f_s)$ 、 $(I_2 + \Delta I_2)$ となり、モータ定数はギャップ長の変動に対して予め演算もしくは計測より求め得る量となる。また、変数 f_s 、 I_2 、変数 $(f_s + \Delta f_s)$ と $(I_2 + \Delta I_2)$ は1次誘起電圧に対して一定の関係をもったものとなるため、2次電流 I_2 とその変動分 ΔI_2 が決まれば発生トルクTは一義的に決定される。また、1次誘起電圧 E_1 と1次電圧とは下記の関係式で表される。

【0010】

【数3】

$$V = R_1 \cdot I_1 + j2\pi f_1 \cdot L_1 \cdot I_1 + E_1 \quad \cdots (3)$$

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad \cdots (4)$$

【0011】 従って、リニアインダクションモータの界磁の利用効率から1次誘起電圧 E_1 を決定し、ギャップ長に対するリニアインダクションモータのモータ定数を実測によって求め、所定のトルクTを得るために2次電流 I_2 を演算し、1次誘起電圧 E_1 を所定の値とした場合のギャップ長に対する励磁電流 I_0 の大きさを演算す

る。

【0012】上記のようにして求めた I_2 と I_0 から、ギャップ長に対する 1 次電流 I_1 を演算する。上記 I_2 をパラメータとして、所定のトルク T を得るためのすべり周波数 f_s を演算する。また、すべり周波数パターン発生器 40 は、トルク指令 T に対し、検出した入力されるギャップ長に対応するすべり周波数、すなわちすべり周波数基準 f_{sp} を演算して出力する。同様に、電流パターン発生器 50 はトルク指令 T に対し、入力されるギャップ長に対応する 1 次電流 I_1 、すなわち電流基準 I_p を演算して出力する。

【0013】従って、ギャップ長が増減した場合、発生しているリニアインダクションモータの 2 次出力が維持されるように、すべり周波数およびモータ電流が修正されるので、リニアインダクションモータは定トルク制御される。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述のような従来のリニアインダクションモータ制御装置は、以下のような問題点があった。電気車では、ひとつの電力変換器から複数のリニアモータ、例えば 2 個モータ、4 個モータへ給電することが多く、ギャップ長は個々のモータ毎に正確に検出しない限り、電気車の総合トルクを制御することはできない。このため、多数のギャップ検出器を必要とし、精度、信頼性に欠け、またコスト的にも高価になる等の問題点があった。

【0015】また、リニアインダクションモータは、図 6 に示すように周知の回転型三相誘導電動機と同じ等価回路で表現できる。従って回転型三相誘導電動機と同様のベクトル制御が可能である。しかし、電気車駆動リニアインダクションモータでは、ギャップ変動によりリニアインダクションモータの等価回路定数の変化によって制御内部定数値と異なってくるという問題点があった。

【0016】この発明は、このような従来の問題点を解消するためになされたものであり、ギャップ検出器なしでリニアインダクションモータが発生する吸引力または反発力と車両重量変化によるギャップ変動を検出しリニアインダクションモータの等価回路定数の変化を把握し、その制御内部定数値を補正することにより、回転型三相誘導電動機のベクトル制御演算と同様な制御性能が得られるリニアインダクションモータ制御装置を得ることを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】請求項 1 の発明に係るリニアインダクションモータ制御装置は、リニアインダクションモータの 1 次側と 2 次側のギャップと該リニアインダクションモータの等価回路定数である相互インダクタンスの関係を導出し、該導出出力に基づいて上記リニアインダクションモータの 1 次側と 2 次側のギャップ変動による相互インダクタンスの変化を補正する補正手段

と、該補正手段の出力に基づいて上記リニアインダクションモータを制御する制御手段とを備えたものである。

【0018】請求項 2 の発明に係るリニアインダクションモータ制御装置は、請求項 1 の発明において、上記補正手段は、上記リニアインダクションモータの速度に対応した外力を出力する外力出力手段と、該外力出力手段の出力と車体重量に基づいて上記リニアインダクションモータの 1 次側と 2 次側のギャップ長を演算する第 1 の演算手段と、該第 1 の演算手段の出力に基づいて上記リニアインダクションモータの等価回路定数に関連した相互インダクタンスを演算する第 2 の演算手段とを有するものである。

【0019】請求項 3 の発明に係るリニアインダクションモータ制御装置は、請求項 2 の発明において、上記外力出力手段は、上記リニアインダクションモータの速度が入力されると予め設定されたテーブルを検索して対応する外力を求めるものである。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施の形態を、図を参照して説明する。

実施の形態 1. 図 1 は、この発明の実施の形態 1 を示す構成図である。なお、図 1 において、図 5 と対応する部分には同一符号を付して、その説明を省略する。図において、1 は制御装置、2 はパンタグラフ、3 は直流リアクトル、4 はフィルタコンデンサ、5 はグラウンド、8 は PWM 装置、9 はベクトル制御演算部、10 は指令装置、11 はリニアインダクションモータの 1 次側と 2 次側のギャップ変動によるリニアインダクションモータの等価回路定数を補正する補正手段としての定数補正装置である。なお、インバータ装置 7、PWM 装置 8 およびベクトル制御演算部 9 は制御手段を構成する。

【0021】図 2 は、図 1 の定数補正装置 11 の詳細を示すブロック図である。図において、11a は各速度に対する外力 f をテーブルとして予め記憶させた外力出力手段としての速度-外力記憶手段、11b は車両重量検出器（図示せず）よりの車体重量 M_t と外力 f に基づき、ギャップ δ の長さを下記の式 (9) により演算する第 1 の演算手段としてのギャップ長演算手段、11c は上記式 (4) より推定相互インダクタンス M_c を演算する第 2 の演算手段としての相互インダクタンス演算手段である。

【0022】また、図 3 は、リニアインダクションモータの起磁力分布と磁束分布を示す概略図、図 4 はこの発明の基本原理を示す概略図であり、図において、13 は車体、14 は車輪である。

【0023】次に、動作について説明する。まず、図 3 および図 4 を参照して、この発明の基本原理を説明する。リニアインダクションモータの 1 次側と 2 次側のギャップ変動によるリニアインダクションの等価回路定数の 1 つである相互インダクタンス M は、磁束 Φ_m /磁化

電流 I_M で表すことができる。磁束 Φ_m を発生させるに必要な起磁力の最大値 F_m は、次の式 (5) ように表せる。

【0024】

【数4】

$$F_m = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\Phi_m}{S} \cdot \frac{\delta}{\mu} \cdot k_s k_c \quad \dots (5)$$

【0025】ここで、 δ : ギャップの長さ[m]、 μ : 空気中の透磁率 ($= 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$)、 s : ギャップ面の一極の広さ、すなわち、(極ピッチ τ_b) \times (鉄心長さ l) [m²]、 κ_s : 飽和係数 (鉄心の飽和のため、起磁力が増える係数で1.1~1.5)、 κ_c : カーター係数 (スロットの開閉部の影響で実質的にギャップの効果が増える係数で1.1~1.3) である。また、 Φ_m/s は平均の磁束密度であるから、 $\pi/2$ 倍して最大値を求めている (図3参照)。起磁力の最大値 F_m は、磁化電流を実効値で表して I_M とすれば、次の式 (6) ように表すことができる。

【0026】

【数5】

$$F_m = 2.64 \cdot \frac{N_1}{P_m} \cdot I_M \quad \dots (6)$$

【0027】ここで、 N_1 : 全巻き数、 P_m : 極数を表す。磁気抵抗が全てギャップに存在するとすれば、上記式 (5) および (6) 式より、相互インダクタンス M は、次の式 (7) 式を用いて算出される。

【0028】

$$\text{ギャップの長さ } \delta = k_a \times (M_t + f)$$

【0034】ここで、 k_a : 比例定数、 M_t : 車体重量、 f : 外力 (吸引力または反発力) となる。次に、外力の把握であるが、電気車駆動リニアインダクションモータでは速度により外力が一義的に把握できる。

【0035】次に、図1および図2の動作について説明する。速度 v_t が入力されると、速度-外力記憶手段11aはその内部のテーブルを検索して対応する外力 f を求める。この外力 f と車両重量検出器よりの車体重量 M_t を用いてギャップ長演算手段11bにおいて、上記式 (9) の演算を行い、ギャップ長 δ を求める。この演算されたギャップ長 δ から相互インダクタンス演算手段11cにより上記式 (8) を演算し、推定相互インダクタンス M_c を求める。この求められた推定相互インダクタンス M_c は、実機の値に等しくなるように補正された等価回路定数である。

【0036】この等価回路定数 M は、ベクトル制御演算部9 (図1) へ入力され、補正された推定相互インダクタンス M_c を使用して演算される。なお、上述の等価回路定数の補正は、逆行中、常に行われる。ベクトル制御演算部9では、すべり周波数形ベクトル制御の原理に基

【数6】

$$M = \frac{\Phi_m}{I_M} = 2.64 \cdot \frac{N_1}{P_m} \cdot \frac{2S\mu}{\pi \cdot k_s k_c} \cdot \frac{1}{\delta} \quad \dots (7)$$

【0029】上記式 (7) 式より相互インダクタンス M とギャップ δ の関係は、下記の式 (8) のように表すことができ、反比例の関係が成り立つ。

【0030】

【数7】

$$M = k \cdot \frac{1}{\delta} \quad \dots (8)$$

【0031】ただし、 $\kappa = 2.64 (N_1/P_m) \cdot (2S\mu/\pi \cdot \kappa_s \cdot \kappa_c)$ とし、 κ は一定定数と考えられる。相互インダクタンスは、温度変動、磁束飽和の影響を無視するとギャップの長さによって一義的に決まる。従ってギャップの長さが把握できれば、相互インダクタンスも予め把握できる。

【0032】また、ギャップの把握であるが、電気車駆動用リニアインダクションモータの場合、ギャップ変動はリニアインダクションモータが発生する吸引力または反発力による歪みと乗車の割合による車両重量変化で発生する。この変動量のうち車体重量は検出することによって把握できるため、外力 (吸引力または反発力) が把握できれば、ギャップ変動量も把握できる。即ち、下記の式 (9) で表される。

【0033】

(9)

づいて、トルク指令 T_M^* 、2次磁束指令 Φ_2^* から1次dq軸電流指令 i_{ld}^* 、 i_{lq}^* とすべり周波数指令 ω_s^* を次式より演算する。

【0037】

【数8】

$$i_{ld}^* = \frac{\Phi_2^*}{M_c} \quad \dots (10)$$

$$i_{lq}^* = \frac{l_r}{M_c} \cdot \frac{T_M^*}{P_m \Phi_2^*} + \frac{T_M^*}{P_m \Phi_2^*} \quad \dots (11)$$

$$\omega_s^* = \frac{T_M^*}{\Phi_2^*} \cdot \frac{1}{P_m} R_r = \frac{R_r}{l_r + M_c} \cdot \frac{i_{lq}^*}{i_{ld}^*} \quad \dots (12)$$

【0038】よって、下記の式 (13) および (14) に基づいて、dq軸電圧指令 V_d^* 、 V_q^* を演算する。

【0039】

【数9】

$$V_d^* = R_s \cdot i_{ld}^* - \omega_{inv} \cdot (l_s + Mc) \cdot \left(1 - \frac{Mc^2}{(l_s + Mc) \cdot (l_s + Mc)} \right) \cdot i_{lq}^* \quad \dots (13)$$

$$V_q^* = R_s \cdot i_{lq}^* + \omega_{inv} \cdot (l_s + Mc) \cdot i_{ld}^* \quad \dots (14)$$

【0040】dq軸電圧指令 V_d^* 、 V_q^* をもとにして、PWM装置8でインバータ7を駆動させるPWM信号を出力する。

【0041】このように、本実施の形態では、リニアインダクションモータのギャップと等価回路定数である相互インダクタンスの関係を導出し、また、インダクションモータが発生する吸引力または反発力と車体重量を検出してギャップ長を把握し導出した式による相互インダクタンスを補正できる定数補正装置を設け、リニアインダクションの1次側と2次側のギャップ変動によるインダクションモータの等価回路定数の変化を補正するので、制御演算で使用するリニアインダクションモータの内部定数値が実機と等しくなり、ギャップ変動に拘わらず推力が一定に維持され、乗り心地が悪くなることを防ぐことができる。

【0042】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、リニアインダクションモータの1次側と2次側のギャップと該リニアインダクションモータの等価回路定数である相互インダクタンスの関係を導出し、該導出出力に基づいて上記リニアインダクタンスモータの1次側と2次側のギャップ変動による相互インダクタンスの変化を補正する補正手段と、該補正手段の出力に基づいて上記リニアインダクションモータを制御する制御手段とを備えたので、制御演算で使用するモータの等価定数が実機の値と等しくなり、ギャップ変動に拘わらず推力が一定に維持され良好な制御特性が得られ、車両等に適用した場合には良好な乗り心地が得られ、しかも精度、信頼性を向上できると共にコスト的にも安価になるという効果がある。

【0043】請求項2の発明によれば、上記補正手段は、上記リニアインダクションモータの速度に対応した外力を出力する外力出力手段と、該外力出力手段の出力と車体重量に基づいて上記リニアインダクションモータ

の1次側と2次側のギャップ長を演算する第1の演算手段と、該第1の演算手段の出力に基づいて上記リニアインダクタンスを演算する第2の演算手段とを有するので、ギャップ変動に拘わらず推力が一定に維持され良好な制御特性が得られ、精度、信頼性の向上、コストの低減化に寄与できるという効果がある。

【0044】請求項3の発明によれば、上記外力出力手段は、上記リニアインダクションモータの速度が入力されると予め設定されたテーブルを検索して対応する外力を求めるので、良好な制御特性等の向上に寄与できるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1を示す構成図である。

【図2】 この発明の実施の形態1における定数補正装置の詳細を示すブロック図である。

【図3】 リニアインダクションモータの起磁力分布と磁束分布を示す概略図である。

【図4】 この発明の基本原理を説明するための模式図である。

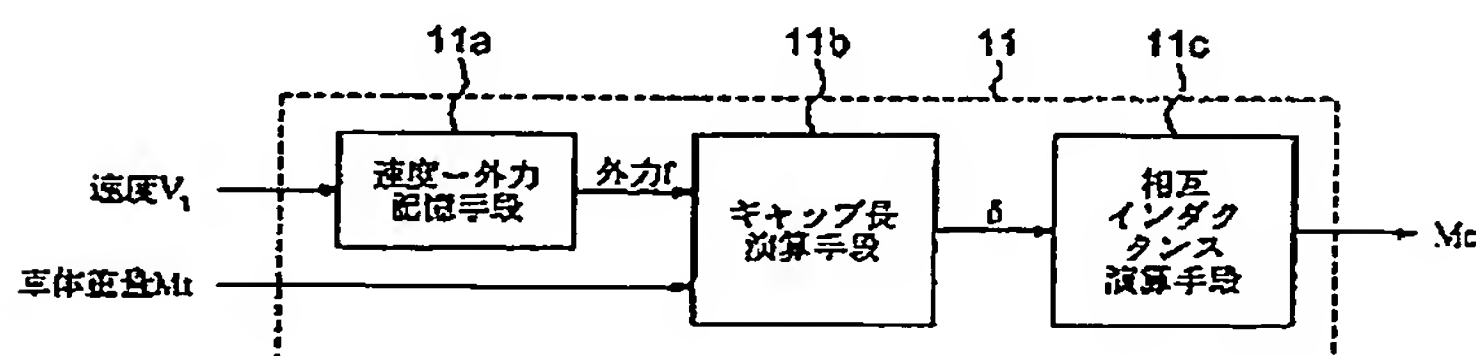
【図5】 リニアインダクションモータの等価回路を示す回路図である。

【図6】 従来のリニアインダクションモータ制御装置を示すブロック図である。

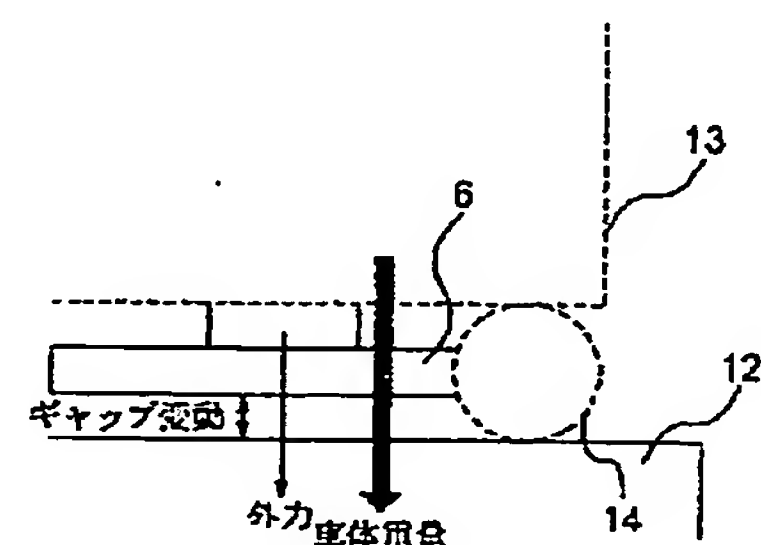
【符号の説明】

1 制御装置、 6 リニアインダクションモータの1次側、 7 インバータ装置、 8 PWM装置、 9 ベクトル制御装置、 10 指令装置、 11 定数補正装置、 11a 速度-外力記憶手段、 11b ギャップ長演算手段、 11c 相互インダクタンス演算手段、 12 リニアインダクションモータの2次側。

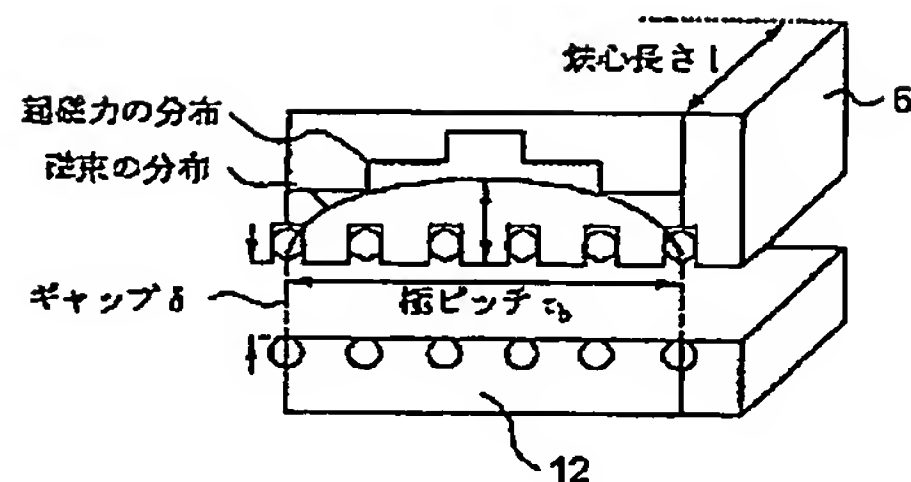
【図2】



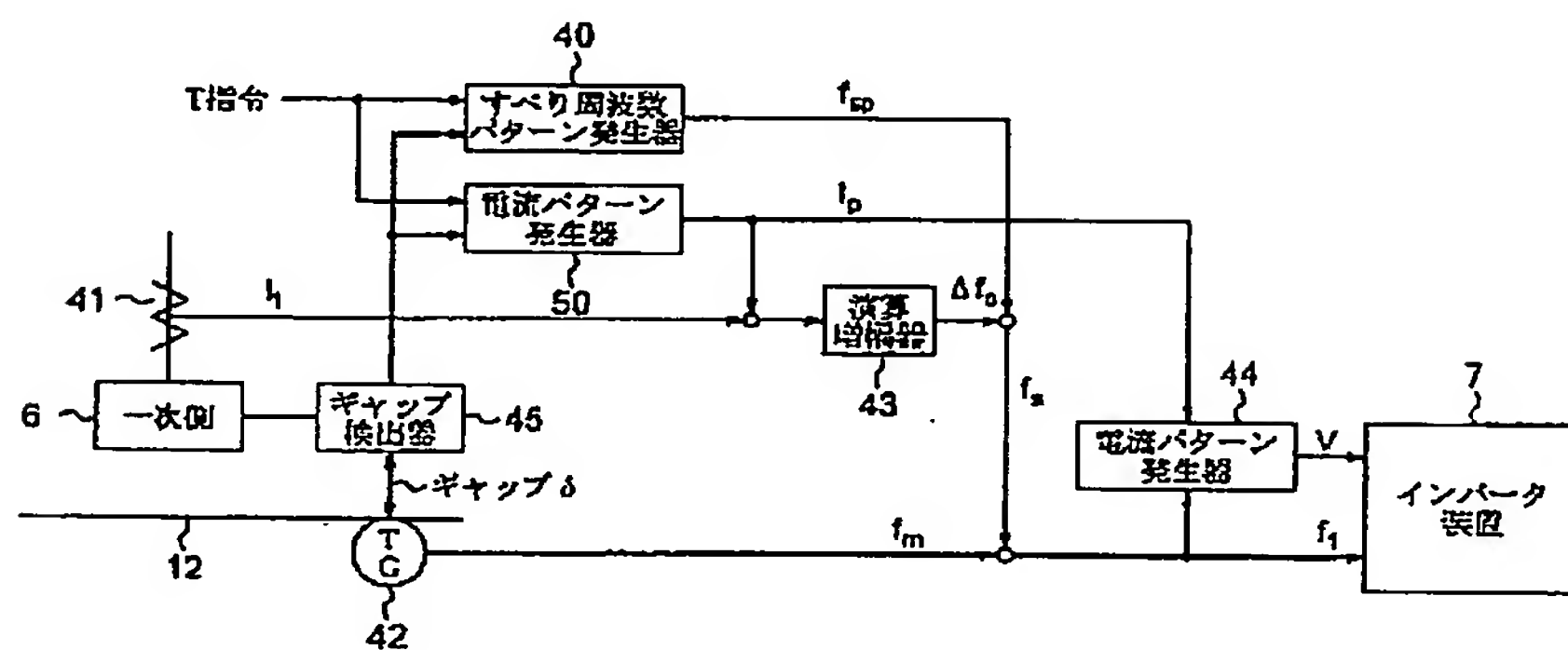
【図4】



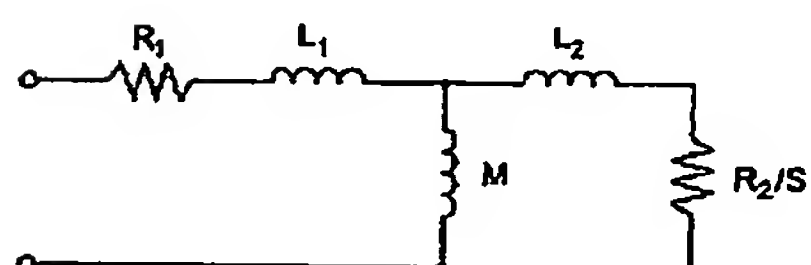
【圖3】



【図5】



【図6】



Fターム(参考) 5H113 AA05 CC03 CC07 CD13 EE02
GG04 GG08 GG12 GG24 GG30
HH19
5H540 AA02 BA02 BB03 BB05 BB08
BB10 EE20 FB01 FC02 FC10
5H576 AA01 BB06 DD02 DD04 EE01
EE11 HB02 LL03 LL30 LL40